

Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов  
«Обработка материалов: современные проблемы и пути решения»

4. Precision Pulse Weld Process Overview. URL: <http://www.lincolnelectric.com/assets/us/en/literature/te12007.pdf> (дата обращения 15.01.2015)
5. Крампит М.А. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ, РАЗРАБОТАННЫЕ ЗА РУБЕЖОМ // "Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований" – 2015 - №5 - 18-21
6. Крампит А.Г., Зернин Е.А., Крампит М.А. Современные способы импульсно-дуговой MIG/MAG сварки // "Технологии и материалы" – 2015 - №1 – 4-11
7. Процесс SpeedArc. URL: <http://www.shtorm-lorch.ru/rus/info/tech/speedarc.php> (дата обращения 15.01.2015)
8. Waveform analysis for MIG / GMAW "Lincoln RapidArc" on steel. URL: [http://www.weldsmith.co.uk/dropbox/cranu/110523\\_waveforms\\_GMAW\\_steel/waveforms\\_GMAW-P\\_RapidArc.html](http://www.weldsmith.co.uk/dropbox/cranu/110523_waveforms_GMAW_steel/waveforms_GMAW-P_RapidArc.html) (дата обращения 15.01.2015)
9. Зернин Е. А. , Крампит А. Г. , Крампит М. А. , Чернов А. С. Исследование процесса формирования сварного шва с полным проплавлением при импульсно-дуговой сварке тавровых соединений // Технологии и материалы. - 2015 - №. 2. - С. 28-33
10. Особенности сварки при различных условиях и материалах. Часть 1. URL: <http://penzaelektrod.ru/articles/art21.htm> (дата обращения 20.06.2015)

### ДЕЙСТВИЕ СИЛ НА КАПЛЮ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ В НИЖНЕМ ПОЛОЖЕНИИ

*Р.К. Садыров, Э.К. Габитов, студенты гр. 10А42,*

*Научный руководитель: Крампит Н.Ю., к.т.н., доцент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: nkrampit@mail.ru*

Технологические преимущества импульсно-дуговой сварки позволяют создавать новые более совершенные способы и разрабатывать эффективное сварочное оборудование, имеющее широкие возможности для управления технологическими процессами, а именно процессами плавления и переноса электродного металла и формирования сварного шва [1].

В статье описаны силы, действующие на каплю электродного металла при импульсно-дуговой сварке в среде углекислого газа в нижнем положении.

При сварке в защитных газах на каплю электродного металла действуют следующие основные силы: сила тяжести  $F_g$ ; сила поверхностного натяжения  $F_{п.н.}$ ; электродинамическая сила  $F_{эд.}$ ; реактивное давление испаряющегося с поверхности капли металла и давления газа  $F_p$ ; сила давления потоков плазмы и бомбардировки заряженными частицами  $F_{п.}$  [2].

Сила тяжести. Сила  $F_g$  оказывает существенное влияние только при больших размерах капель. В зависимости от пространственного расположения шва сила  $F_g$  способствует отрыву капли от электрода, если шов расположен в нижнем положении; если шов в потолочном положении, то сила тяжести препятствует отрыву; а если в вертикальном, то сила тяжести отклоняет каплю от электрода.

Сила поверхностного натяжения. Сила  $F_{п.н.}$  обычно препятствует переносу капель с электрода в ванну. Местом приложения силы  $F_{п.н.}$  может быть принято такое сечение на жидкой капле, в котором эта сила минимальна.

Электродинамическая сила. Сила  $F_{эд.}$  возникает при прохождении тока по проводнику из-за взаимодействия тока с собственным магнитным полем. Если сечение проводника постоянно, то эта сила направлена по радиусу к оси проводника и стремится его сжать.

Реактивная сила  $F_p$ . Расплавленный металл на электроде и изделии в зоне активных пятен находится при температуре, близкой к температуре кипения. По этой причине с поверхности активных пятен происходит интенсивное испарение, а иногда и выделение различных газов. Из газов, которые могут образовываться на электроде, существенно образование окиси углерода.

Сущность управления плавлением и переносом электродного металла можно рассмотреть при исследовании процесса импульсно-дуговой сварки с помощью скоростной киносъемки. Данная методика описана в работе [3].

Полный цикл процесса плавления и переноса электродного металла при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе в нижнем положении представлен на рисунке 1.

При анализе кинограмм процесса импульсно-дуговой сварки в углекислом газе в нижнем положении выявлено, что весь цикл процесса сварки можно разделить на этап паузы и этап импульса. В свою очередь, этап импульса подразделяется на подэтапы: нарастание тока импульса, отрыв капли электродного металла, переход капли в столбе сварочной дуги, спад тока импульса.

Этап паузы опишем следующим образом: виден «тонкий» столб дуги. На торце электрода находится капля. Под действием давления дуги капля электродного металла вытесняется на боковую поверхность. Столб сварочной дуги практически не виден. Капля начинает приподниматься относительно торца электрода. Электрод со стороны капли оплавляется косо. Далее капля электродного металла начинает выравниваться. Затем наблюдается рост и смещение капли относительно оси электрода. Происходит увеличение столба сварочной дуги. Под действием силы тяжести и поверхностного натяжения капля сформировалась на торце в виде сферы. Капля электродного металла занимает соосное положение с электродом.

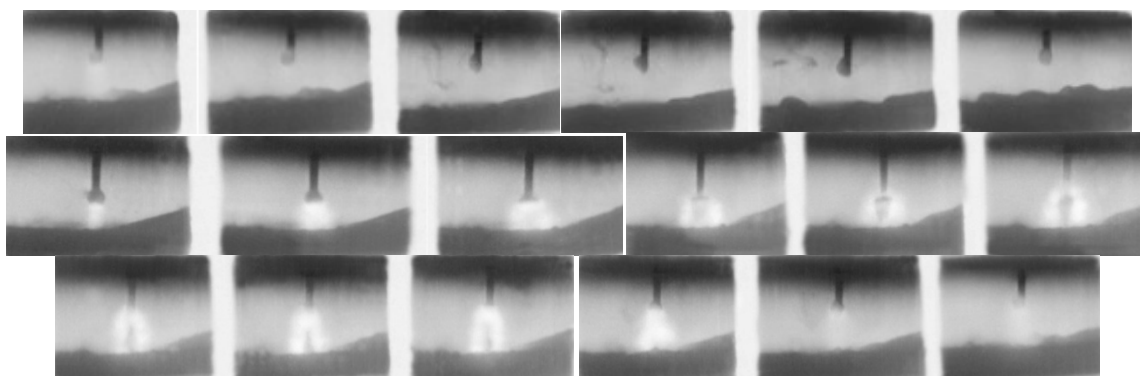


Рис. 1. Кинограммы процесса плавления и переноса электродного металла при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе в нижнем положении (скорость съемки 2980 кадр/сек)

Действие сил на каплю электродного металла и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении представлено на рисунке 3. Как видно, на этапе паузы сила тяжести направлена вниз, а все остальные силы, а именно сила поверхностного натяжения, реактивная сила и электродинамическая сила, направлены вверх. Результирующая составляющая действия всех сил на каплю электродного металла будет равна нулю, т.е. капля находится в равновесном состоянии.

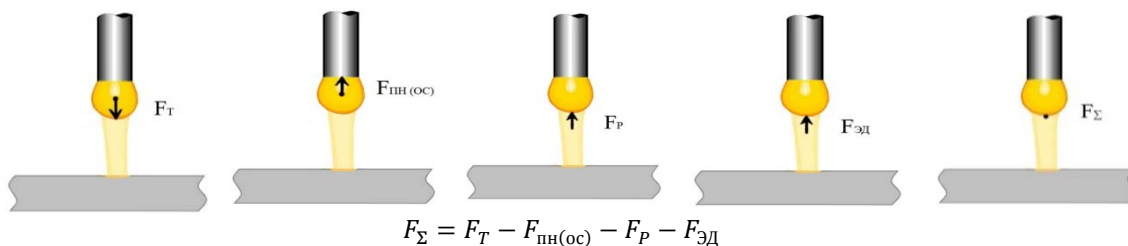


Рис. 2. Действие сил и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении на этапе паузы

Этап нарастания тока импульса опишем следующим образом: появилась небольшая дуга. На торце электрода хорошо видна капля, которая занимает соосное положение. Диаметр столба меньше диаметра капли и электрода. За счет увеличения тока импульса и величины сил, действующих на каплю, видно увеличение столба сварочной дуги. Увеличиваясь, столб сварочной дуги принимает бочкообразную форму и постепенно обхватывает каплю электродного металла. Нарастание тока происходит плавно, капля втягивается в столб дуги и, не смещаясь на боковую поверхность электрода, занимает соосное с ним положение.

Действие сил на каплю и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении показано на рисунке 4.

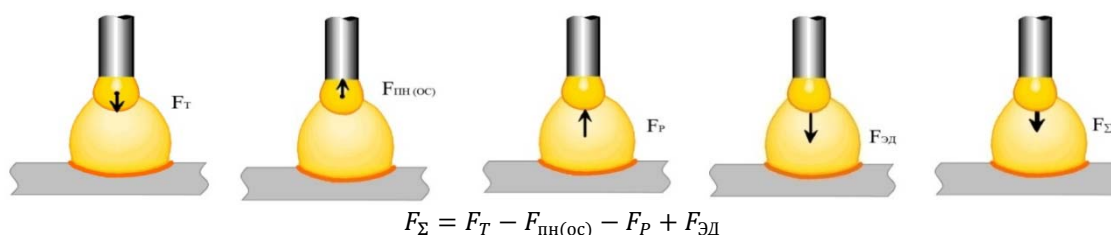


Рис. 3. Действие сил и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении на этапе нарастания тока импульса

Как видно, на этапе нарастания тока импульса сила тяжести и электродинамическая сила направлены вниз, а сила поверхностного натяжения и реактивная сила направлены вверх. В этом случае, результирующая составляющая действия всех сил на каплю электродного металла будет стремиться оторвать каплю электродного металла в сторону сварочной ванны.

Этап отрыва капли электродного металла опишем следующим образом: столб сварочной дуги обхватывает каплю электродного металла. С нарастанием сварочного тока увеличивается и значение электродинамической силы, под действием которой капля втягивается в столб дуги и движется в сторону ванны. Происходит образование шейки между электродом и каплей. Происходит оттягивание капли в направлении ванны. Далее идет отрыв капли и ее ускорение в сторону сварочной ванны. После разрыва перемычки реактивное давление паров очень велико, поэтому оторвавшаяся капля сильно деформирована. При взрыве шейки и отрыве капли, дуга «прыгает» на электрод, обхватывая его, поэтому в этот момент диаметр столба сварочной дуги имеет наибольшие размеры.

Действие сил на каплю и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении показано на рисунке 5. На этапе отрыва капли электродного металла все силы направлены вниз, кроме реактивной силы, которая в данный момент отсутствует. Сила тяжести, сила поверхностного натяжения и электродинамическая сила направлены вниз, причем значение электродинамической силы очень большое. В этом случае, очевидно значение результирующей составляющей действия всех сил на каплю электродного металла, которая направляет каплю электродного металла в сварочную ванну.

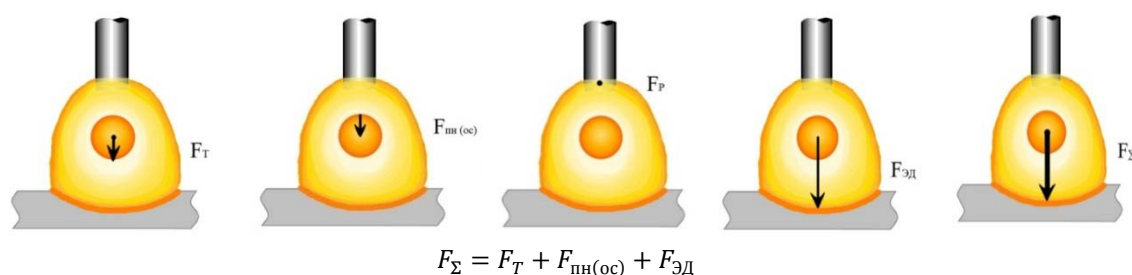
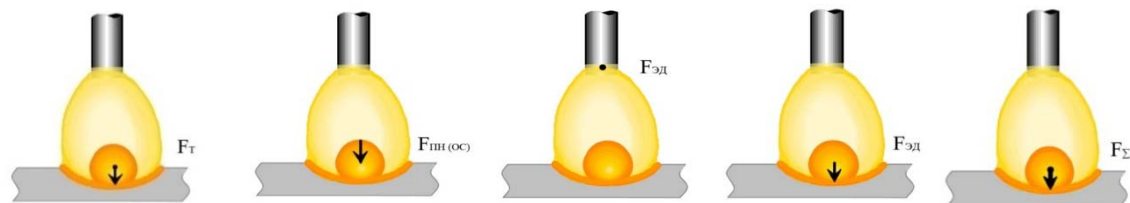


Рис. 4. Действие сил и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении на этапе отрыва капли электродного металла

Этап перехода капли электродного металла в сварочную ванну можно описать следующим образом: сильно деформированная капля, парящая в направлении сварочной ванны. Ток уменьшается. Наблюдается сужение столба сварочной дуги.

Действие сил на каплю и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении показано на рис. 6. На этапе перехода капли электродного металла в сварочную ванну сила тяжести, сила поверхностного натяжения и электродинамическая сила направлены вниз. В том же направлении действует результирующая составляющая действия всех сил на каплю электродного металла. Как видно, капля электродного металла входит в сварочную ванну.



$$F_{\Sigma} = F_T + F_{\text{ПН(ос)}} + F_{\text{Эд}}$$

Рис. 5. Действие сил и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении на этапе перехода капли электродного металла в сварочную ванну

Этап спада тока импульса можно описать следующим образом: постепенно уменьшающийся столб сварочной дуги. Капля металла перешла в сварочную ванну. На торце электрода видна вновь образованная капля расплавленного металла.

Таким образом, на основе анализа кинограмм процесса импульсно-дуговой сварки в среде углекислого газа в нижнем положении показаны силы, действующие на каплю электродного металла.

Литература.

1. Крампит Н.Ю., Буракова Е.М., Крампит М.А. Краткий обзор способов управления процессом дуговой сварки в среде защитных газов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; URL: [www.science-education.ru/115-12069](http://www.science-education.ru/115-12069).
2. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: «Машиностроение», 1974, 240 с.
3. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Исследование процесса переноса электродного металла при импульсном питании сварочной дуги // Технология металлов. – 2005. – №7. – С. 18-21.

#### ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

*И.Д. Садыков, студент гр.10А52*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: mita8@rambler.ru*

Надежность сварных соединений металлоконструкций во всех отраслях промышленности существенно влияет на безопасность и экономическую эффективность производства, поэтому находится в центре внимания, как работников производственной сферы, так и научного сообщества.

Сварка – непрерывный технологический процесс, в результате которого необходимо обеспечить равнопрочность основного металла, металла сварного шва и зоны термического влияния (ЗТВ), а также наиболее полный переход легирующих элементов с электрода в сварочную ванну. Эти требования выполняются путем использования современных материалов и прогрессивных сварочных технологий, а именно:

- применением сварочных материалов, в состав которых входят наноразмерные компоненты (покрытые электроды, порошковые проволоки);
- применением новых инверторных источников питания с различными схемами управления энергетическими параметрами процесса сварки.

Сварочные материалы с нанопорошковыми компонентами способствуют измельчению структуры наплавленного металла [1, 2], повышению механических свойств наплавленного металла, увеличению коэффициента перехода легирующих элементов [3]. Однако применение их может оказать негативное воздействие на здоровье сварщика [4, 5], что является сдерживающим фактором для широкого использования данных материалов в сварочном производстве.

В настоящее время рядом российских и зарубежных фирм-производителей сварочного оборудования выпускается широкий спектр источников питания для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, таких как Fronius (Австрия), Lincoln Electric (США), ESAB (Швеция), УКП (Технотрон, Россия), ВКЗ (ИТС, Россия) и т.д. То есть, практически все мировые лидеры в области сварочного произ-